






## Werkzeugmaschine mit piezoelektrischer Positionskorrekturereinrichtung

**Patent number:** DE19859360  
**Publication date:** 2000-07-06  
**Inventor:**  
**Applicant:** SCHWAEBISCHE WERKZEUGMASCHINEN (DE)  
**Classification:**  
**- international:** B23Q15/14; G05B19/401; B23Q23/00; B23Q1/34  
**- european:**  
**Application number:** DE19981059360 19981222  
**Priority number(s):** DE19981059360 19981222

Also published as:

 WO0037213 (A3)  
 WO0037213 (A3)  
 WO0037213 (A2)  
 EP1140423 (A3)  
 EP1140423 (A3)

[more >>](#)

[Report a data error here](#)

### Abstract of DE19859360

The invention relates to a machine tool (1) especially for machining work pieces. Said machine tool comprises a machining unit (3). At least one electrically controlled piezoelectric control element (11) is provided as a position adjusting device, especially for a work spindle (4) of the machining unit (3). If a change of position is detected, the machining unit can quickly be mechanically moved to the respective desired position.

---

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide



⑦① Anmelder:  
Schwäbische Werkzeugmaschinen GmbH, 78713  
Schrumberg, DE

⑦④ Vertreter:  
Kohler Schmid + Partner, 70565 Stuttgart

⑦② Erfinder:  
Antrag auf Nichtnennung

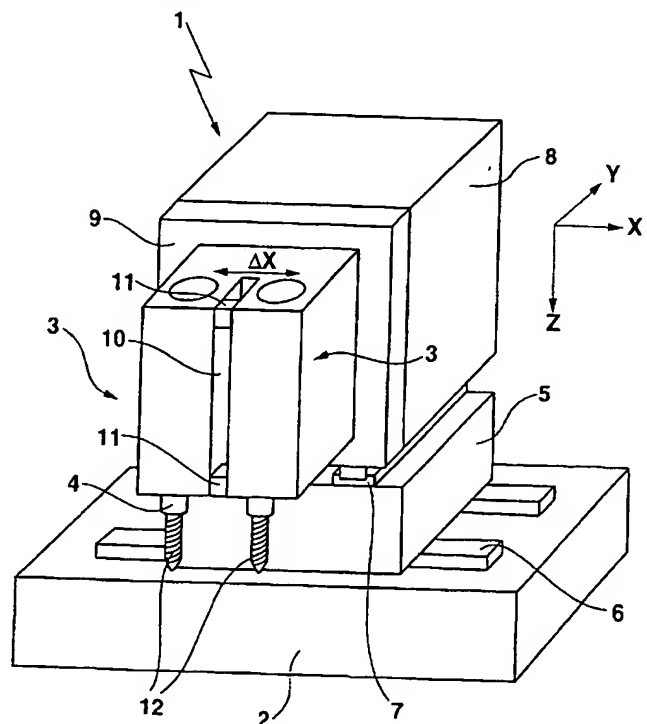
⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
DE 196 19 103 A1  
DE 196 07 599 A1  
DE 37 11 600 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Werkzeugmaschine mit piezoelektrischer Positionskorrekturereinrichtung

⑤⑦ Bei einer Werkzeugmaschine (1) zur insbesondere spanenden Bearbeitung von Werkstücken, mit einer Bearbeitungseinheit (3) ist als Positionskorrekturereinrichtung, insbesondere für eine Arbeitsspindel (4) der Bearbeitungseinheit (3), mindestens ein elektrisch angesteuertes piezoelektrisches Stellelement (11) vorgesehen. Bei einer festgestellten Positionsänderung kann die Bearbeitungseinheit schnell mechanisch in ihre jeweilige Sollposition bewegt werden.



Die Erfindung betrifft eine Werkzeugmaschine zur insbesondere spanenden Bearbeitung von Werkstücken, mit einer Bearbeitungseinheit und/oder einem Werkstücktisch und mit einer Positionskorrekturereinrichtung für die Bearbeitungseinheit bzw. den Werkstücktisch.

Eine derartige Werkzeugmaschine ist zum Beispiel durch die DE 196 07 599 A1 bekanntgeworden.

Um bei dieser bekannten Werkzeugmaschine Bearbeitungsungenauigkeiten aufgrund thermisch bedingter Positionsänderungen von Werkstück und/oder Werkzeug im Arbeitsbereich des Werkzeuges zu vermeiden, sind ortsfeste optische Meßschranken vorgesehen, durch die Werkstück und Werkzeug gleichzeitig oder kurz nacheinander bewegt werden. Die so erfaßten Positionen werden mit abgespeicherten Positionen aus früheren Messungen verglichen, und die Differenz zwischen erfaßter und früher gemessener Position wird zur Korrektur der Maschinensteuerung verwendet. Das heißt, das Werkzeug oder Werkstück wird nicht mechanisch auf den Sollwert zurückbewegt, sondern die Positionsänderung wird durch eine entsprechende Korrektur der Sollwerte der Maschinensteuerung berücksichtigt. Außerdem ist eine dynamische Positionskorrektur während der Bearbeitung eines Werkstücks nicht möglich.

Demgegenüber ist es die Aufgabe der Erfindung, eine Werkzeugmaschine der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß bei einer festgestellten Positionsänderung die Bearbeitungseinheit und/oder der Werkstücktisch möglichst schnell mechanisch in ihre jeweilige Sollposition bewegt werden können.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß als Positionskorrekturereinrichtung, insbesondere für eine Arbeitsspindel der Bearbeitungseinheit, mindestens ein elektrisch angesteuertes piezoelektrisches (piezokeramisches) Stellelement vorgesehen ist.

Piezoelektrische Stellelemente (Aktuatoren), mit denen sich heute Dehnungen von bis zu ca. 300  $\mu\text{m}$  erreichen lassen, weisen sehr hohe Steifigkeiten und insbesondere sehr kurze Stellzeiten (kleiner als 1  $\mu\text{s}$ ) auf. In Werkzeugmaschinen können sie sowohl auf der Werkzeug- als auch auf der Werkstückseite eingesetzt werden z. B.:

- zum Ausgleich von thermischen Verformungen und Verlagerungen;
- zum Ausgleich von geometrischen Positionsfehlern (z. B. der Werkstücke);
- zum Ausgleich von Verformungen und Verlagerungen aufgrund wirkender Kräfte;
- zum Ausgleich von Werkzeugmaßschwankungen (z. B. Werkzeuglängenkorrektur, insbesondere eine relative Werkzeuglängenkorrektur bei mehrspindligen Systemen);
- zur aktiven Schwingungstilgung.

So können z. B. die Arbeitsspindeln von Werkzeugmaschinen, insbesondere von mehrspindligen, mit Hilfe von piezoelektrischen Stellelementen räumlich verschiebbar an die Werkzeugmaschine angekoppelt werden. Damit ist eine, den Freiheitsgraden der konventionellen Maschinenachsen überlagerte räumliche Bewegung der bzw. jeder einzelnen Arbeitsspindel möglich. Der Maschinenständer, z. B. eine Schlitteneinheit, mit der Arbeitsspindel führt die vom Steuerprogramm vorgegebenen Achsbewegungen durch, während eine Arbeitsspindel zusätzlich überlagerte Kompensationsbewegungen für eine Positionskorrektur ausführen kann. Diese erfindungsgemäße piezoelektrische Positionskorrekturereinrichtung kann sowohl bei konventionellen Ar-

beitsspindeln als auch bei Motorspindeln und Mehrspindelbohrköpfen eingesetzt werden.

Zum Abgleich von Positionsfehlern zwischen Werkzeug und Werkstück, die aufgrund der oben genannten Einflüsse entstehen, kann die Arbeitsspindel entweder mittels vorgegebener Parameter in eine Sollposition gesteuert werden, oder es wird mit Hilfe eines geschlossenen Regelkreises die Werkzeug- bzw. Arbeitsspindelposition an die Werkstück- bzw. Sollposition angepaßt. Die Ermittlung der Soll/Ist-Abweichung kann mittels mechanischer, optischer, kapazitiver oder induktiver Meßaufnehmer oder Taster erfolgt. Der Maßabgleich kann dabei sowohl an den zu bearbeitenden Werkstücken als auch an dem Werkzeug erfolgen.

Die festgestellte Abweichung wird dann in mehreren Regelschritten z. B. durch das Verschieben der Arbeitsspindel auf ihre Sollposition minimiert. Bei der gesteuerten Vorgehensweise wird die Arbeitsspindel anhand von im Vorfeld ermittelter maschinen-, werkzeug- oder vorrichtungstypischer Parameter in ihre exakte Sollposition gesteuert. Dabei können sich diese Parameter auch variabel am jeweiligen Maschinenzustand orientieren (Temperatur, Bearbeitungskraft usw.).

Bei bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung verläuft die Wirkrichtung des mindestens einen piezoelektrischen Stellelements etwa in Richtung eines linearen Freiheitsgrades der Bearbeitungseinheit bzw. des Werkstücktisches, d. h. in Richtung der konventionellen Maschinenachsen X, Y oder Z. Neben thermisch bedingten Verlagerungen können so Werkzeugmaßschwankungen, z. B. die Werkzeuglängen oder Werkzeugeinstellmaße, verändert werden. Dies ermöglicht insbesondere bei mehrspindligen Systemen, bei denen ansonsten eine Kompensation ihrer Arbeitsspindeln in Achsrichtung (Z-Richtung) zueinander nicht möglich ist, einen individuellen und separaten Abgleich jeder einzelnen Arbeitsspindel in Z-Richtung.

In vorteilhafter Weiterbildung dieser Ausführungsform kann jedem linearen Freiheitsgrad der Bearbeitungseinheit bzw. des Werkstücktisches jeweils mindestens ein piezoelektrisches Stellelement zugeordnet sein. Durch diese Maßnahme kann jede beliebige räumliche Positionskorrektur z. B. der Arbeitsspindel(n) vorgenommen werden.

Bei einer anderen Ausführungsform der Erfindung verläuft die Wirkrichtung des mindestens einen piezoelektrischen Stellelements etwa radial zu einem linearen Freiheitsgrad der Bearbeitungseinheit bzw. des Werkstücktisches. Diese Ausführungsform hat den wesentlichen Vorteil, daß z. B. eine Arbeitsspindel über das mindestens eine piezoelektrische Stellelement aus ihrer zu einem linearen Freiheitsgrad (Z-Richtung) parallelen Lage bewegt, insbesondere parallelverschoben oder auch verkippt werden kann.

Dazu kann die Bearbeitungseinheit bzw. der Werkstücktisch in einer vorteilhaften Weiterbildung dieser Ausführungsform über eine durch mindestens zwei, vorzugsweise mindestens drei piezoelektrische Stellelemente gebildete Mehrpunkthalterung räumlich verstellbar gelagert sein. Die Stellelemente sind dabei in gleichen Winkelabständen an der Bearbeitungseinheit bzw. dem Werkstücktisch vorzusehen.

Ferner ist es bei dieser Weiterbildung besonders von Vorteil, wenn die Bearbeitungseinheit bzw. der Werkstücktisch über mindestens zwei in Richtung des linearen Freiheitsgrades hintereinander angeordnete Mehrpunkthalterungen räumlich verstellbar gelagert ist. Mit zwei Mehrpunkthalterungen, z. B. mit je drei unter 120° angeordneten Stellelementen in zwei Radialebenen, läßt sich eine Arbeitsspindel in den durch die drei Stellelemente aufgespannten Radialebenen radial verstellen, und zwar entweder zur Spindelachse parallelverschieben oder aber sphärisch verstellen. Im letz-

teren Fall ändert sich die Achsrichtung der Arbeitsspindel bzw. des darin eingespannten Werkstücks. Durch die sphärische Verstellbarkeit der Arbeitsspindel können auch Taulmelfehler der Arbeitsspindel ausgeglichen werden. Ebenso wird es dadurch möglich, genauigkeitsbedingte, geometrische Abweichungen der Werkzeugmaschine sowie Fehler aufgrund der Nachgiebigkeit der Maschinenstruktur auszugleichen.

Je nach Position des Massenmittelpunkts einer verfahrbaren Bearbeitungseinheit, insbesondere ihrer Schlitteneinheit, bei der Bearbeitung ändern sich die auf ihre Führung wirkenden Kräfte bzw. Belastung. Damit ergeben sich abhängig von der jeweiligen Position des Schlittens Geometrieabweichungen. Schlimmstenfalls kann diese Belastung zu einem Abkippen des Schlittens führen. Um auch solche von der Position des Schlittens abhängigen, jeweils unterschiedlichen Kräfte ausgleichen zu können, kann das mindestens eine piezoelektrische Stellelement erfindungsgemäß an der einem linearen Freiheitsgrad zugeordneten Führung der Bearbeitungseinheit bzw. des Werkstücktisches vorgesehen sein. So können bei vertikalen Bearbeitungseinheiten, um z. B. Nachgiebigkeiten ihres X-Schlittens auszugleichen, Stellelemente unter den Führungsschuhen der Führungen montiert werden. Damit kann die nicht konstante Steifigkeit des X-Schlittens in Abhängigkeit seiner jeweiligen Y-Position kompensiert werden.

Bei bevorzugten weiteren Ausführungsformen ist der Abstand zwischen zwei Bearbeitungseinheiten, insbesondere zwischen ihren Arbeitsspindeln, oder zwischen zwei Werkstücktischen der Werkzeugmaschine über das mindestens eine piezoelektrische Stellelement veränderbar. Im einfachsten Fall ist das Stellelement zwischen den beiden Arbeitsspindeln z. B. in einer Trennfuge vorgesehen, um den Spindelabstand durch Aufweiten der Trennfuge zu verstellen.

Auch Schwingungen der Werkzeugmaschine, die im allgemeinen in einem Frequenzbereich von ca. 10–20 Hz liegen, können zu Positionsungenauigkeiten und zu Verlagerungen führen. Daher ist es von besonderem Vorteil, wenn mindestens ein die Bearbeitungseinheit bzw. den Werkstücktisch höhenverstellbar lagerndes piezoelektrisches Element zur Kompensation solcher Schwingungen (aktive Schwingungstilgung) vorgesehen ist. Dazu wird die Bewegung der Werkzeugmaschine mit geeigneten Schwingungsmeßelementen erfaßt, verrechnet und als Wegkompensationswerte an die Stellelemente gegeben.

Zur Ermittlung der Soll/Ist-Abweichung auf der Werkzeug- oder Werkstückseite kann ein z. B. mechanischer, optischer, kapazitiver oder induktiver Meßfühler vorgesehen sein, der eine Verlagerung der Bearbeitungseinheit bzw. des Werkstücktisches unmittelbar oder einen die Verlagerung bestimmenden Parameter als Fühlgröße für das Ansteuern des mindestens einen piezoelektrischen Stellelements erfaßt. Die erstgenannten Parameter eignen sich insbesondere für eine Regelung des Stellelements, während es sich bei den zweitgenannten Parametern um maschinen-, werkzeug- oder vorrichtungstypische Parameter wie z. B. Temperatur oder Bearbeitungskraft usw. handelt, deren Kennlinien bereits im Vorfeld ermittelt werden und dann zur Steuerung in die exakte Sollpositionen dienen können. In einer vorteilhaften Weiterbildung kann als Meßfühler das mindestens eine piezoelektrische Element selbst vorgesehen sein.

Bei einer dynamischen Positionskorrektur der Arbeitsspindel während der Bearbeitung eines Werkstücks kann die Arbeitsspindel durch das Stellelement nicht nur räumlich verstellt, sondern in dieser verstellten Position auch fortwährend gehalten werden. Es ist aber auch möglich, die Arbeitsspindel in ihrer durch das Stellelement räumlich verstellten Lage durch eine separate Halteeinrichtung zu halten.

Bei dieser Halteeinrichtung kann es sich z. B. um Klemmelemente handeln, die sich möglichst elektrisch ansteuern lassen. Insbesondere können als Klemmelemente auch piezoelektrische Elemente verwendet werden.

Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter aufgeführten Merkmale erfindungsgemäß jeweils einzeln für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung. Die Erfindung ist in den Figuren schematisch dargestellt, so daß die wesentlichen Merkmale der Erfindung gut zu erkennen ist. Die Darstellungen sind nicht notwendigerweise maßstäblich zu verstehen.

Es zeigt:

Fig. 1 eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Werkzeugmaschine mit zwei vertikalen Bearbeitungseinheiten in perspektivischer Ansicht;

Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel einer horizontalen Arbeitsspindel einer erfindungsgemäßen Werkzeugmaschine, wobei die Arbeitsspindel in Z-Richtung verschiebbar gelagert ist;

Fig. 3 ein anderes Ausführungsbeispiel einer horizontalen Arbeitsspindel einer erfindungsgemäßen Werkzeugmaschine, wobei die Arbeitsspindel radial zur Z-Richtung verschiebbar gelagert ist; und

Fig. 4 eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Werkzeugmaschine in einer Seitenansicht.

Die in Fig. 1 gezeigte Werkzeugmaschine 1 umfaßt ein Maschinenuntergestell in Form eines Bodenträgers 2 sowie zwei Bearbeitungseinheiten 3, deren vertikale Arbeitsspindeln 4 mittels einer Schlitteneinheit in X-, Y- und Z-Richtung verschiebbar geführt sind.

Dazu umfaßt die Schlitteneinheit einen X-Schlitten 5, der in horizontalen Führungen 6 des Bodenträgers 2 in X-Richtung verschiebbar geführt ist. Am X-Schlitten 5 sind horizontale Führungen 7 für einen die beiden Bearbeitungseinheiten 3 tragenden Y-Schlitten 8 vorgesehen. Jede Bearbeitungseinheit 3 weist einen pinolenartigen Z-Schlitten (nicht dargestellt) mit der Arbeitsspindel 4 auf, so daß diese auch in Z-Richtung verfahrbar ist.

Die beiden Bearbeitungseinheiten 3, die durch einen gemeinsamen Gehäuseblock 9 gebildet sind, sind in X-Richtung durch eine nach vorne offene Trennfuge 10 beabstandet, in der sich oben und unten jeweils ein in X-Richtung wirkendes piezoelektrisches Stellelemente 11 befindet. Durch entsprechende elektrische Ansteuerung der Stellelemente 11 kann die Trennfuge 10 geweitet und so der Abstand  $\Delta X$  zwischen beiden Arbeitsspindeln 4 bzw. zwischen den darin befindlichen Werkzeugen 12 geändert werden.

Die in Fig. 2 gezeigte Arbeitsspindel 20 ist von drei in Z-Richtung wirkenden piezoelektrischen Stellelemente 21 umgeben, die in gleichen Winkelabständen um die Längsachse 22 der Arbeitsspindel 20 verteilt angeordnet sind. Die piezoelektrischen Stellelemente 21 sind einenends an dem Lager 23 der Arbeitsspindel 20 angebracht und anderenends an dem pinolenartigen Z-Schlitten (nicht dargestellt) abgestützt. Indem alle drei piezoelektrischen Stellelemente 21 für die gleiche Längenänderung  $\Delta z$  elektrisch angesteuert werden, läßt sich die Arbeitsspindel 20 bzw. ihr Werkzeug 24 entsprechend in Z-Richtung in ihrer Länge um den Betrag  $\Delta z$  verstellen. Bei unterschiedlicher Längen-Ansteuerung der drei piezoelektrischen Stellelemente 21 läßt sich die Arbeitsspindel 20 bzw. das Werkzeug 24 aus ihrer ursprünglichen mit 22 bezeichneten Lage heraus beliebig verkippen.

Um die in Fig. 3 gezeigte Arbeitsspindel 30 sind außen am Umfang ihres Lagers 31 vorne und hinten jeweils drei radial zur Längsrichtung 32 der Arbeitsspindel 30 wirkende piezoelektrische Stellelemente 33 angeordnet, die anderen-  
ends an einem Gehäuse (nicht dargestellt) abgestützt sind. Jedes Lager 31 ist durch seine drei, jeweils um 120 verteilt angeordneten piezoelektrischen Stellelemente 32 in einer 3-Punkt-Lagerung 34 gehalten. Durch entsprechende elektrische Längen-Ansteuerung aller piezoelektrischer Stellelemente 33 der beiden 3-Punkt-Lagerung 34 läßt sich die Arbeitsspindel 20 bzw. ihr Werkzeug 35 entweder aus der mit 32 bezeichneten Lage um einen Betrag  $\Delta r$  parallel verschieben oder aber verkippen. Durch die sphärische Verstellbarkeit können z. B. Taumelfehler der Arbeitsspindel 30 ausgeglichen werden.

Bei der in Fig. 4 gezeigten Werkzeugmaschine 40 sind zwischen dem Bodenträger 41 und den Führungen 42 für die in Fig. 1 beschriebene Schlitteneinheit sowie einem Werkstücktisch 43 piezoelektrische Stellelemente 44 angeordnet, die in Y-Richtung wirken. Auf dem Werkstücktisch 43 befinden sich die mit dem Werkzeug 45 in der Arbeitsspindel 46 zu bearbeitenden Werkstücke.

Durch entsprechend schnelle Längenansteuerung  $\Delta Y$  der Stellelemente 44 läßt sich die Übertragung von Schwingungen des Bodenträgers 41 auf das Werkzeug dämpfen bzw. eliminieren. Je nach Position des Massenmittelpunkts des verfahrenbaren Schlitteneinheit ändern sich die auf die Führung 42 wirkenden Kräfte, die zu Geometrieabweichungen führen können. Mit den unter den Führungen 42 vorgesehenen Stellelementen 44 können z. B. Nachgiebigkeiten der Schlitteneinheit ausgeglichen und so die nicht konstante Steifigkeit der Schlitteneinheit in Abhängigkeit ihrer jeweiligen Position kompensiert werden.

Bei einer Werkzeugmaschine (1) zur insbesondere spannenden Bearbeitung von Werkstücken, mit einer Bearbeitungseinheit (3) ist als Positionskorrektureinrichtung, insbesondere für eine Arbeitsspindel (4) der Bearbeitungseinheit (3), mindestens ein elektrisch angesteuertes piezoelektrisches Stellelement (11) vorgesehen. Bei einer festgestellten Positionsänderung kann die Bearbeitungseinheit schnell mechanisch in ihre jeweilige Sollposition bewegt werden.

#### Patentansprüche

1. Werkzeugmaschine (1; 40) zur insbesondere spannenden Bearbeitung von Werkstücken, mit einer Bearbeitungseinheit (3) und/oder einem Werkstücktisch (43) und mit einer Positionskorrektureinrichtung für die Bearbeitungseinheit (3) bzw. den Werkstücktisch (3), **dadurch gekennzeichnet**, daß als Positionskorrektureinrichtung, insbesondere für eine Arbeitsspindel (4; 20; 30; 46) der Bearbeitungseinheit (3), mindestens ein elektrisch angesteuertes piezoelektrisches Stellelement (11; 21; 33; 44) vorgesehen ist.

2. Werkzeugmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Wirkrichtung des mindestens einen piezoelektrischen Stellelements (11; 21; 44) etwa in Richtung eines linearen Freiheitsgrades (X-, Y-, Z-Richtung) der Bearbeitungseinheit (3) bzw. des Werkstücktisches (43) verläuft.

3. Werkzeugmaschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß jedem linearen Freiheitsgrad (X-, Y-, Z-Richtung) der Bearbeitungseinheit (3) bzw. des Werkstücktisches (43) jeweils mindestens ein piezoelektrisches Stellelement (11; 21; 44) zugeordnet ist.

4. Werkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Wirkrichtung des mindestens einen piezoelektrischen Stellele-

ments (33) etwa radial zu einem linearen Freiheitsgrad (X-, Y-, Z-Richtung) der Bearbeitungseinheit (3) bzw. des Werkstücktisches verläuft.

5. Werkzeugmaschine nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitungseinheit bzw. der Werkstücktisch über eine durch mindestens zwei, vorzugsweise mindestens drei piezoelektrische Stellelemente (33) gebildete Mehrpunkthalterung (34) räumlich verstellbar gelagert ist.

6. Werkzeugmaschine nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitungseinheit bzw. der Werkstücktisch über mindestens zwei in Richtung des linearen Freiheitsgrades (X-, Y-, z-Richtung) hintereinander angeordnete Mehrpunkthalterungen (34) räumlich verstellbar gelagert ist.

7. Werkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das mindestens eine piezoelektrische Stellelement (44) an der einem linearen Freiheitsgrad (X-, Y-, Z-Richtung) zugeordneten Führung (42) der Bearbeitungseinheit bzw. des Werkstücktisches (43) vorgesehen ist.

8. Werkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand zwischen zwei Bearbeitungseinheiten (3), insbesondere zwischen ihren Arbeitsspindeln (4), oder zwischen zwei Werkstücktischen der Werkzeugmaschine über das mindestens eine piezoelektrische Stellelement (11) veränderbar ist.

9. Werkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch mindestens ein die Bearbeitungseinheit bzw. den Werkstücktisch (43) höhenverstellbar lagerndes piezoelektrisches Stellelement (33; 44).

10. Werkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Meßfühler, der eine Verlagerung der Bearbeitungseinheit (3) bzw. des Werkstücktisches (43) unmittelbar oder einen die Verlagerung bestimmenden Parameter als Fühlgröße für das Ansteuern des mindestens einen piezoelektrischen Stellelements (11; 21; 33; 44) erfaßt.

11. Werkzeugmaschine nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß als Sensor das mindestens eine piezoelektrische Stellelement (11; 21; 33; 44) selbst vorgesehen ist.

12. Werkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jedem piezoelektrischen Stellelement (11; 21; 33; 44) eine Halteeinrichtung zugeordnet ist, welche die Bearbeitungseinheit (3) bzw. den Werkstücktisch (43) jeweils in der durch das piezoelektrische Stellelement (11; 21; 33; 44) vorgegebenen Lage hält.

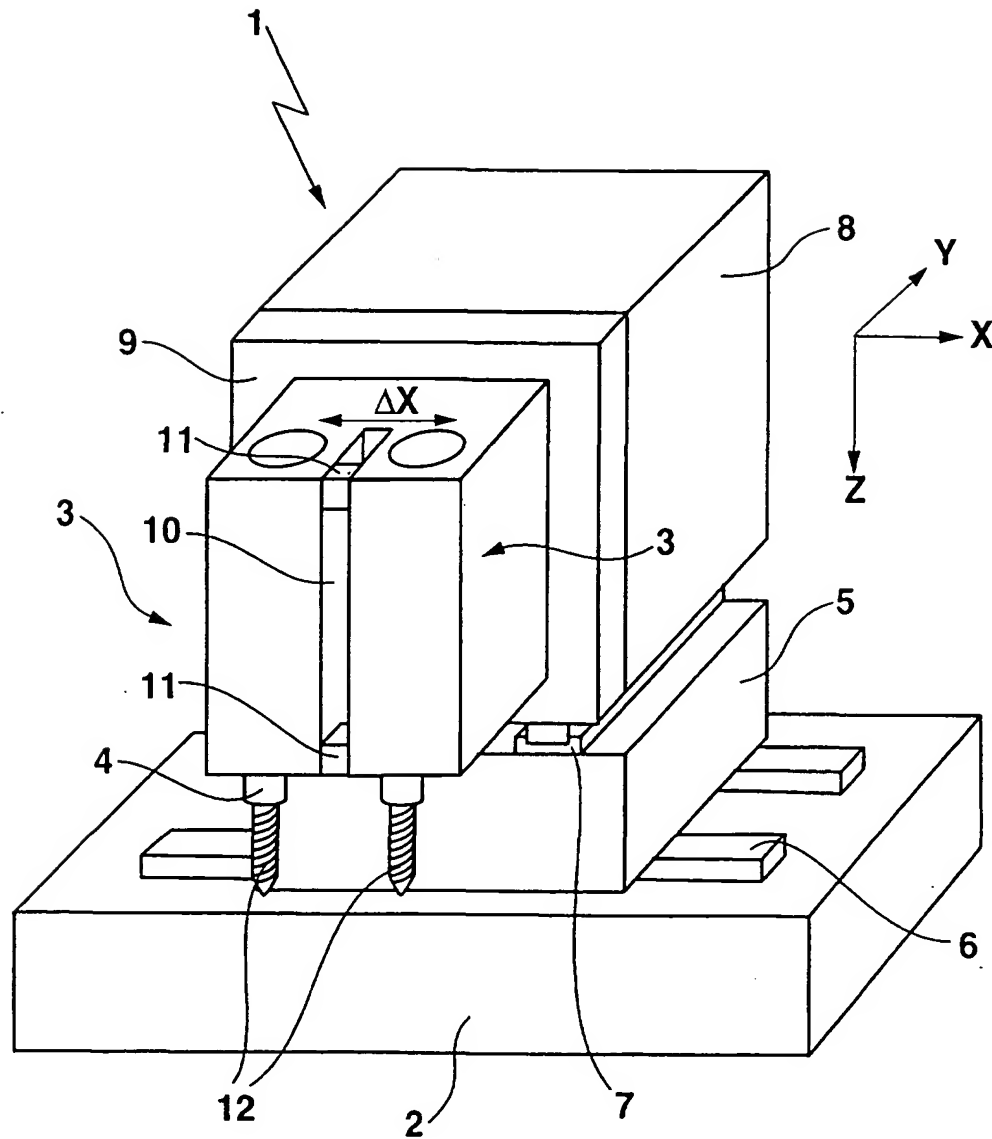
---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

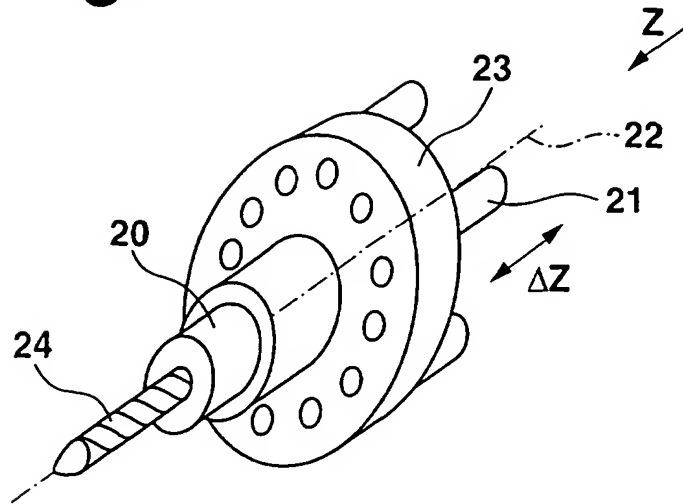
---

- Leerseite -

Fig. 1



**Fig. 2**



**Fig. 3**

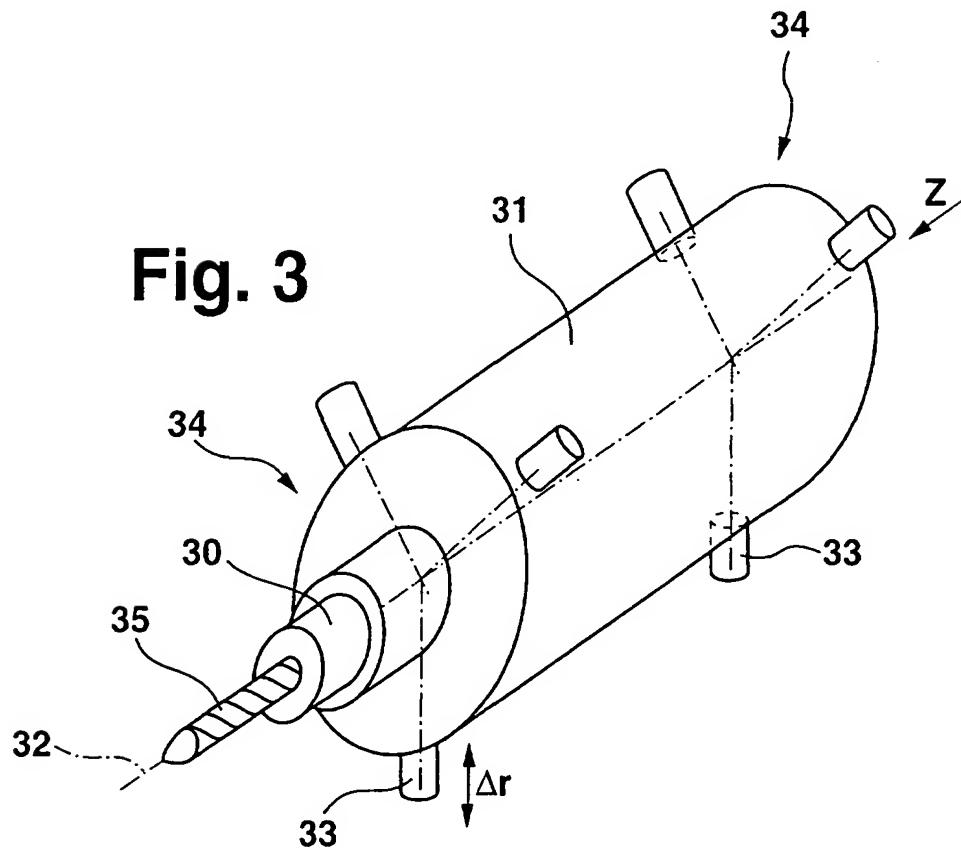




Fig. 4

